

PENENTUAN KOEFISIEN SERAPAN KAYU BANGKIRAI (*SHOREA LAEVIFOLIA*) DAN PERBANDINGANNYA TERHADAP TIMBAL (Pb) SEBAGAI DINDING RUANG RADIOLOGI DIAGNOSTIK

Japeri, Heri Sutanto, Choirul Anam

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail : Erijap@yahoo.com

ABSTRACT

*Shield utilization is very important to protect employee and people from radiation. Therefore, the rules are made that one of them is to regulate construction design of diagnostic radiology room which meet radiation protection standart. Indonesia has natural resources which potential to be radiation shield material. The research has been done to determine absorption coeffcicient of bangkirai (*Shorea laevifolia*) and its comparison with Pb as wall of diagnostic radiology room. X-ray absorption between bangkirai and Pb as the following : Voltage, current and time of X-ray mobile were setted in 81 kV and 32 mAs, distance between focus and object was 100 cm, Multi Purpose Detector (MPD) placed under object, area of irradiation field opened in 5 cm x 5 cm, central beam placed in the center of objects appropriately and then expotion was conducted for untreated bangkirai with (Pb) and treated bangkirai which heated in 100°C for 60 minutes repeteably according to variation of determined thickness material, finally expotion was conducted for each thickness for three times so that average value obtained and it was repetead until absorption coefficient value of this material obtained. Result of X-ray absorption on bangkirai tests showed that absorption coefficient (μ) effective for untreated bangkirai and treated bangkirai is 0,029/mm and 0,027/mm, respectively. Equality result showed that unheated bangkirai with 1,3 mm Pb is equivalent with 254 mm untreated bangkirai, while heated bangkirai with 1,3 mm Pb is equivalent with 273 mm treated bangkirai. To reach 2 mm of Pb, untreated bangkirai and treated bangkirai were used with thickness off 391 mm and 420 mm, respectively.*

Keywords : X-ray mobile, Multi Purpose Detector (MPD), Pb, Bangkirai, Absorption Coefficient (μ)

ABSTRAK

Dilakukan di *Training Center Universitas Diponegoro Semarang* dengan menggunakan sumber radiasi sinar-x. Penyerapan antara timbal dengan kayu bangkirai terhadap sinar-x tersebut sebagai berikut: Pesawat diatur pada tegangan, arus dan waktu pada kondisi 81 kV 32 mAs yang tetap serta jarak antara fokus dan objek sejauh 100 cm, *Multi Purpose Detector* (MPD) ditempatkan dibawah objek, luas lapangan penyinaran dibuka 5 cm x 5 cm, pusat sinar ditempatkan tepat di tengah-tengah objek selanjutnya dilakukan eksposi untuk masing-masing ketebalan timbal (Pb) dengan kayu bangkirai tanpa perlakuan dan perlakuan dipanaskan 100 °C selama 60 menit dilakukan secara berurutan sesuai variasi ketebalan bahan yang ditentukan selanjutnya dilakukan eksposi untuk setiap ketebalan sebanyak 3x (tiga kali) sehinga didapatkan nilai rata-rata kemudian dilakukan percobaan sampai didapatkan nilai koefisien serapan bahan tersebut. Dari hasil pengujian penyerapan sinar-x pada kayu bangkirai. Nilai koefisien serapan (μ) efektif untuk kayu bangkirai tanpa perlakuan sebesar 0,029/mm sedangkan untuk kayu yang mengalami perlakuan didapatkan hasil sebesar 0,027/mm. Hasil kesetaraan antara kayu bangkirai tanpa dipanaskan dengan timbal (Pb) pada ketebalan 1,3 mm setara dengan kayu tanpa perlakuan sebesar 254 mm. Sementara untuk kayu yang mendapat perlakuan pemanasan didapatkan hasil kesetaraan untuk ketebalan 1,3 mm setara dengan 273 mm. Untuk mencapai 2 mm Pb digunakan ketebalan kayu bangkirai tanpa perlakuan sebesar 391 mm sementara untuk kayu yang mengalami perlakuan dibutuhkan ketebalan sebesar 420 mm

Kata Kunci : Pesawat X-ray, Multi Purpose Detector (MPD), Pb, Bangkirai, Koefisien Serapan (μ)

PENDAHULUAN

Radiasi sinar-x, disamping memberikan manfaat yang sangat besar juga berpotensi memberikan efek merugikan. Proteksi radiasi merupakan aspek yang sangat penting dalam pengendalian efek merugikan. Oleh sebab itu setiap instalasi nuklir dan unit radiologi harus memperhatikan proteksi radiasi untuk melindungi pekerja radiasi dan masyarakat umum^[1,2,3,4]. Untuk memproteksi diri dari sumber radiasi, maka diterapkan tiga strategi dasar yang dikenal sebagai prinsip proteksi radiasi: mengurangi waktu berada di sekitar sumber radiasi, memposisikan diri sejauh mungkin dari sumber radiasi dan menggunakan perisai radiasi^[5,6,7].

Dari prinsip proteksi radiasi di atas, salah satu penggunaan perisai sangat penting untuk melindungi dari radiasi baik pekerja maupun masyarakat umum. Untuk itu dibuat aturan-aturan dan salah satunya mengenai desain (konstruksi) ruang radiologi diagnostik yang harus memenuhi standar proteksi radiasi^[8,9,10,11].

Untuk mencapai kondisi ruangan radiologi yang aman bagi pekerja radiasi, pasien dan masyarakat, telah ditetapkan standar oleh badan pengawasan tenaga nuklir (BAPETEN), yaitu digunakan bahan yang setara dengan 2 mm timbal (Pb). Menurut (Maryanto D, 2008) tebal dinding penahan radiasi primer adalah dinding dari bata plesteran dengan tebal 25 cm atau beton setebal 15 cm yang setara dengan Pb 2 mm. Prinsip utama digunakan timbal adalah untuk mereduksi dosis sinar-x sehingga dosis yang diterima oleh pekerja radiasi dan masyarakat umum lebih rendah dari nilai batas dosis (NBD)^[12]. Bahwa di Indonesia banyak bahan alami yang sebenarnya cukup potensial menjadi bahan perisai radiasi, diantaranya adalah kayu yang memiliki tingkat kekerasan tertentu. Untuk itu perlu dilakukan penelitian terhadap tingkat penyerapan beberapa kayu yang potensial digunakan sebagai perisai radiasi. Sebelumnya telah dilakukan penelitian

terhadap kayu besi oleh Anselmus, (2002). Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa 30 mm kayu besi setara dengan 0,75 mm timbal (Pb).

Selain kayu besi, ada jenis kayu yang melimpah di Indonesia dan memiliki kerapatan yang cukup tinggi, yaitu kayu bangkirai atau yang dikenal kayu Yellow Balau. Kayu ini hanya ditemukan banyak di Indonesia, Malaysia dan Filipina. Bangkirai bisa memiliki diameter hingga 120 cm dan tinggi pohon mencapai 40 meter pada kekeringan MC 12,88%^[13]. Kerapatan Bangkirai cukup tinggi 0,89 g/cm³ dan berat jenis 0,76 kg/cm²^[14]. Untuk itu perlu dilakukan riset tentang serapan kayu bangkirai terhadap radiasi sinar-x sebagai alternatif bahan perisai untuk proteksi radiasi.

TEORI

A. Sinar-x

Pembangkit sinar-x berupa tabung hampa udara yang di dalamnya terdapat filamen yang juga sebagai katoda dan terdapat komponen anoda. Jika filamen dipanaskan maka akan keluar elektron dan apabila antara katoda dan anoda diberi beda potensial yang tinggi, elektron akan dipercepat menuju keanoda. Dengan percepatan elektron tersebut maka akan terjadi tumbukan tak kenyal sempurna antara elektron dengan anoda, akibatnya terjadi pancaran radiasi sinar-x^[15]. Salah satu sifat sinar-x yang paling berharga dan menguntungkan adalah dapat menembus bahan dan mengalami atenuasi (diserap) oleh bahan yang dilaluinya, sehingga intensitas radiasi setelah melewati bahan akan lebih kecil dibandingkan intensitas mula-mula

Sedangkan radiasi elektromagnetik hanya dapat dikurangi intensitasnya bila perisai ini dipertebal. Adapun atenuasi sinar-x kedalam suatu bahan tergantung dari nomor atom, kerapatan bahan, ketebalan bahan, kekerasan bahan atau kalau dinyatakan dalam rumus:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Dengan I sebagai intensitas radiasi setelah menembus bahan, I_0 sebagai intensitas radiasi sebelum menembus bahan atau (radiasi mula-mula), sedangkan μ sebagai koefisien serapan linier bahan dan x adalah sebagai tebal bahan yang digunakan.

Sedangkan untuk memperoleh nilai μ dapat diturunkan dari persamaan (1) sehingga diperoleh persamaan:

$$\mu = 1/x \ln I_0/I \quad (2)$$

Sementara x sebagai tebal bahan yang digunakan. Untuk mencari x maka dengan cara menurunkan persamaan (1) menjadi:

$$x = 1/\mu \ln I_0/I \quad (3)$$

B. Konsep Nilai Paro HVL

Nilai paro atau half value layer (HVL) untuk perisai radiasi tertentu adalah tebal bahan perisai yang diperlukan untuk mengurangi intensitas radiasi elektromagnetik menjadi setengah dari mula-mula. Konsep HVL ini sangat berguna untuk menghitung secara cepat untuk mengurangi intensitas radiasi hingga tingkat tertentu. Misalnya untuk mengurangi radiasi elektromagnetik menjadi setengahnya dari intensitas mula-mula diperlukan perisai radiasi setebal 1 HVL, untuk mengurangi intensitas radiasi menjadi seperempat atau $(\frac{1}{2})^2$ dari intensitas mula-mula diperlukan 2 HVL dan untuk mengurangi intensitas radiasi menjadi seperdelapannya atau $(\frac{1}{2})^3$ dari intensitas mula-mula diperlukan perisai setebal 3 HVL. Kalau dinyatakan dalam persamaan rumus :

$$HVL = \frac{tb \ln \left(2 \frac{Ka}{Ko}\right) - ta \ln \left(2 \frac{Kb}{Ko}\right)}{\ln \left(\frac{Ka}{Ko}\right)} \quad (4)$$

Dengan a sebagai tebal bahan sedikit di atas, b sebagai tebal bahan sedikit di bawah, I_a sebagai nilai dosis sedikit lebih tinggi dari setengahnya dosis mula-mula (sebelum menembus kayu), I_b sebagai nilai dosis sedikit di bawah dari

setengahnya dosis mula-mula (sebelum menembus kayu), dan K_0 adalah intensitas radiasi sebelum menembus bahan.

Sedangkan untuk menentukan nilai μ untuk koefisien serapan kayu bangkirai, dengan persamaan rumus awal:

$$HVL = 0,693/\mu \quad (5)$$

sehingga dapat ditulis:

$$\mu = 0,693/ HVL_{[16]} \quad (6)$$

METODE PENELITIAN

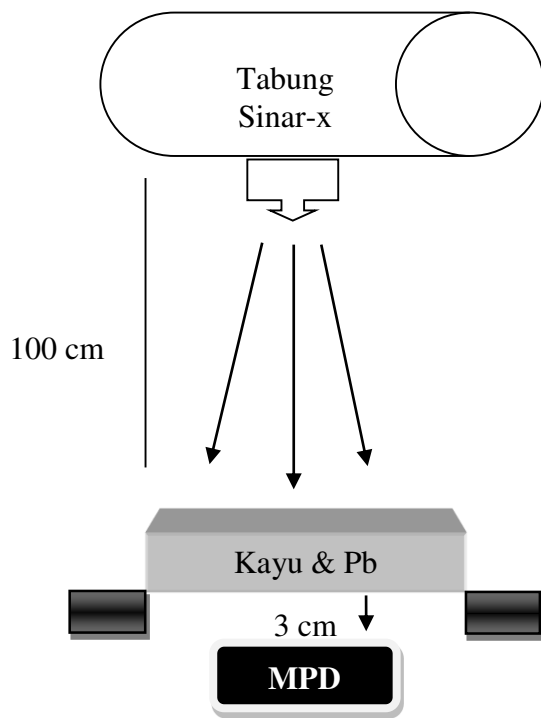
A. Alat dan Bahan

pesawat sinar-x yang digunakan merupakan pesawat sinar-x mobile merek siemens 21303 sebagai sumber radiasi. tegangan 100v-240v, arus 0,4-0,5a. detektor yang digunakan multy purpose detector (mpd) tipe barracuda, versi 4.0. kayu bangkirai dengan dimensi ukuran bahan 100 mm x 100 mm dengan ketebalan 5 mm, 1 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm dan 55 mm. timbal dengan dimensi ukuran bahan 100 mm x 100 mm ketebalan 0,3 mm, 0,6 mm, 0,9 mm, 1 mm, 1,3 mm.

B. Tata Kerja

Untuk lebih detailnya pengukuran paparan radiasi maka akan dijelaskan tentang penyerapan antara timbal dengan kayu bangkirai terhadap sinar-x tersebut sebagai berikut : adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini seperti pesawat sinar-x dan juga detektor dan bahan yang digunakan yaitu timbal pb dengan dimensi ukuran bahan 100 mm x 100 mm dengan ketebalan 0,3 mm sampai dengan ketebalan 1,3 mm sedangkan untuk bahan kayu yang digunakan yaitu diambil dari salah satu pabrik sama dengan dimensi ukuran 100 mm x 100 mm dengan ketebalan 5 mm sampai 55 mm sebelum melakukan pengujian bahan, kayu bangkirai diuji serapannya untuk kayu tanpa perlakuan khusus dan yang diberi perlakuan khusus yaitu dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 100 °C selama

60 menit sebelum dipanaskan bahan kayu bangkirai tersebut ditimbang menggunakan neraca digital dan setelah dipanaskan ditimbang kembali hingga diketahui massa yang berkurang dari bahan kayu bangkirai tersebut dengan ketebalan yang bervariasi.

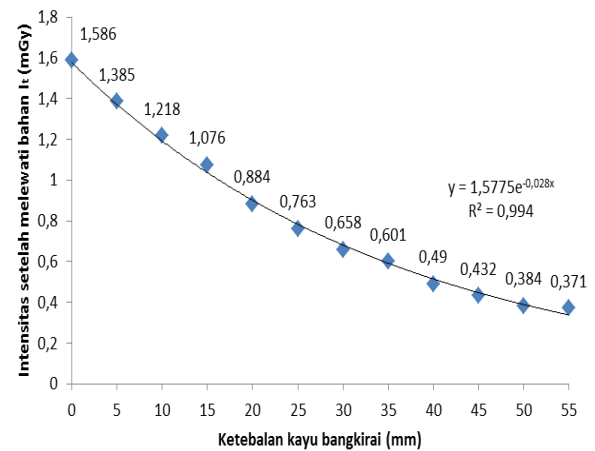


Gambar 1. Skema pengukuran paparan radiasi sinar-x timbal dan kayu bangkirai

HASIL DAN PEMBAHASAN

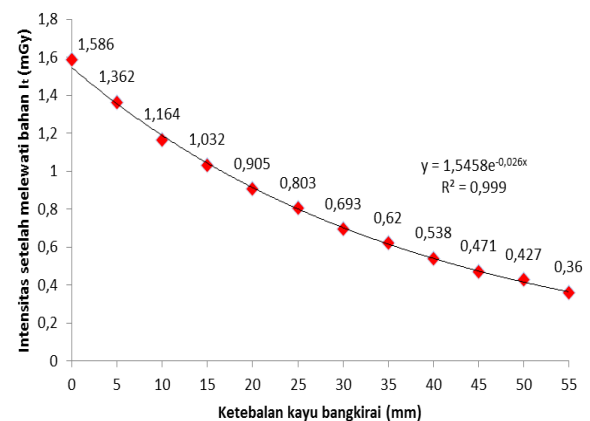
A. Koefisien Serapan Kayu Bangkirai Terhadap Radiasi Sinar-x

Telah dilakukan pengujian serapan sinar-x oleh kayu bangkirai untuk beberapa ketebalan, yaitu dari ketebalan 5 mm hingga 55 mm. Kayu bangkirai diuji serapannya untuk kayu tanpa perlakuan khusus dan yang diberi perlakuan khusus yaitu dipanaskan sampai suhu 100°C selama 60 menit. Pengukuran dosis dilakukan menggunakan detektor MPD yang dikoneksikan dengan elektrometer Barracuda. Hasil dosis sinar-x baik yang sebelum melewati kayu dan setelah melewati kayu bangkirai untuk beberapa ketebalan secara visual ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Grafik dosis sinar-x sebelum dan setelah melewati bahan

Dalam pengujian penyerapan untuk beberapa intensitas (I_t) kayu bangkirai terhadap sinar-x dalam menentukan koefisien serapan bahan untuk kayu yang mengalami perlakuan secara visual di tunjukan oleh Gambar 3.



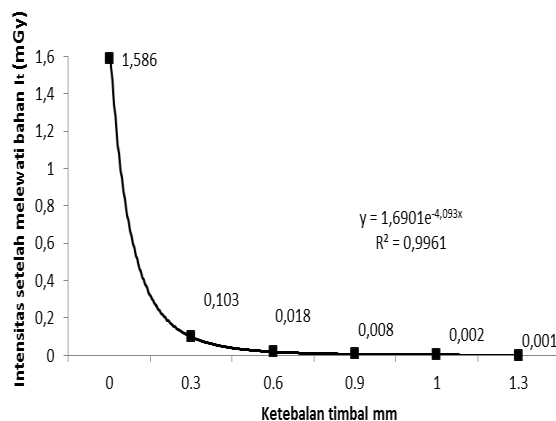
Gambar 3. Grafik dosis sinar-x sebelum dan setelah melewati bahan yang mengalami perlakuan

Dari gambar 2 dan gambar 3 untuk bahan penyerapan tebal kayu bangkirai dosis radiasi yang ditangkap detektor sangat terlihat bahwa adanya penurunan grafik secara eksponensial dipengaruhi oleh ketebalan kayu bangkirai tersebut sehingga dapat dipastikan kayu bangkirai merupakan bahan yang dapat menyerap radiasi ini terlihat dari besarnya penyerapan kayu bangkirai terhadap sinar-x.

Terhadap juga bahwa nilai tengah (HVL) untuk kayu bangkirai tanpa dipanaskan terletak pada nilai sekitar ketebalan 20 mm dan 25 mm, sedangkan untuk kayu bangkirai yang dipanaskan dengan suhu 100 °C selama 60 menit nilai tengah (HVL) terletak pada nilai sekitar ketebalan 25 mm dan 30 mm. Secara eksperimen dari gambar 2 dan 3 ditentukan nilai koefisien serapan untuk kayu bangkirai baik yang tanpa perlakuan dan yang dengan perlakuan, maka nilai koefisien serapan untuk kayu bangkirai tanpa perlakuan sebesar 0,028/mm, sedangkan untuk kayu yang mengalami perlakuan didapatkan hasil sebesar 0,026/mm.

B. Koefisien Serapan Timbal (Pb) Terhadap Radiasi Sinar-x

Sebelum menentukan kesetaraan kayu bangkirai dengan Pb, dilakukan juga serapan sinar-x oleh Pb dengan beberapa ketebalan, yaitu 0,3 mm, 0,6 mm, 0,9 mm, 1,0 mm dan 1,3 mm. Hasil dosis sinar-x sebelum melewati Pb dan setelah melewati Pb secara visual di tunjukan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Grafik dosis sinar-x setelah melewati bahan Pb

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa pada ketebalan 0,3 mm saja dosis serapan setelah melewati Pb lebih besar dari nilai setengahnya yaitu 50 % dari radiasi mula-mula sebelum menembus Pb

untuk ketebalan Pb 1,3 mm, dosis yang terbaca detektor tinggal 0,001 mGy. Secara eksperimen dari gambar 4. ditentukan nilai koefisien serapan untuk timbal Pb, maka nilai koefisien serapan untuk timbal Pb sebesar 4,093/mm.

C. Penentuan Nilai HVL Kayu Bangkirai

Untuk menentukan kesetaraan serapan kayu bangkirai dengan Pb, terlebih dahulu ditentukan nilai HVL. HVL adalah harga paruh atau kemampuan suatu bahan dalam menyerap radiasi sinar-x menjadi setengah dari radiasi mula-mula (50% dari radiasi mula-mula). HVL ini sangat bermanfaat untuk menentukan ketebalan perisai atau proteksi yang diperlukan. Penentuan HVL diperoleh dengan interpolasi menggunakan persamaan (4). Dalam perhitungan HVL digunakan dua nilai dosis, yaitu dosis yang sedikit lebih tinggi dari setengahnya dosis mula-mula (sebelum melalui kayu) dan dosis yang sedikit lebih rendah dari setengahnya dosis mula-mula. Dosis sebelum melewati kayu sebesar 1,586 mGy maka setengahnya adalah 0,793 mGy. Pada kayu bangkirai tanpa perlakuan nilai dosis sedikit diatas 0,793 mGy adalah 0,884 mGy yaitu pada ketebalan kayu 20 mm, sedangkan nilai dosis sedikit dibawah 0,793 mGy adalah 0,763 mGy yaitu pada ketebalan 25 mm. Dari nilai itu dapat dihitung nilai HVL 0,793 mGy pada ketebalan kayu sebesar 23,69 mm. Secara interpolasi diperoleh hasil ketebalan sebesar 23,76 mm, sedangkan kayu bangkirai yang dipanaskan 100 °C selama 60 menit mengalami perlakuan nilai dosis sedikit diatas 0,793 mGy adalah 0,803 mGy yaitu pada ketebalan kayu 25 mm, sedangkan nilai dosis sedikit dibawah 0,793 mGy adalah 0,693 mGy yaitu pada ketebalan 30 mm. Dari nilai itu dapat dihitung nilai HVL 0,793 pada ketebalan kayu sebesar 25,43 mm dan Secara interpolasi diperoleh hasil ketebalan sebesar 25,45 mm.

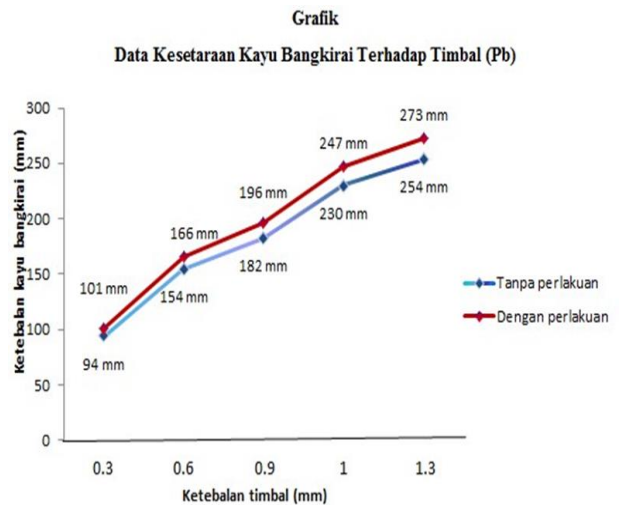
D. Penentuan Nilai Koefisien Serapan

Berikutnya ditentukan nilai koefisien serapan untuk kayu bangkirai baik yang tanpa perlakuan dan yang dengan perlakuan, nilai

koefisien serapan dihitung berdasarkan persamaan (6). Dari persamaan tersebut, maka nilai koefisien serapan untuk kayu bangkirai tanpa perlakuan sebesar 0,029/mm sedangkan untuk kayu yang mengalami perlakuan didapatkan hasil sebesar 0,027/mm. Adapun secara interpolasi untuk nilai koefisien serapan kayu tanpa perlakuan sebesar 0,029/mm dan untuk kayu yang mengalami perlakuan didapatkan hasil sebesar 0,027/mm sehingga bisa dikatakan bahwa untuk nilai penentuan koefisien serapan bahan baik yang menggunakan persamaan (6) ataupun secara interpolasi hasilnya sama.

E. Kesetaraan Kayu Bangkirai Terhadap Timbal (Pb)

Dalam mendesain ruang radiologi hendaknya mengutamakan faktor keselamatan radiasi yang diterima seminimal mungkin sehingga untuk menciptakan ruang radiologi yang benar-benar aman dan penyerapannya lebih tinggi menggunakan bahan yang lebih tebal sehingga penyerapannya lebih tinggi maka untuk itu digunakan perhitungan yang nantinya bahan kayu bangkirai tersebut dapat disetarakan dengan timbal. Berikut untuk menentukan kesetaraan kayu bangkirai dengan Pb digunakan persamaan (3). Dari perhitungan diperoleh bahwa untuk setara dengan Pb diperlukan kayu bangkirai pada ketebalan tertentu secara visual ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Grafik kesetaraan kayu bangkirai terhadap timbal (Pb)

Dari gambar 5. Tampak bahwa kayu bangkirai tanpa perlakuan (agak basah) lebih efektif dalam mengurangi dosis dari pada yang mengalami perlakuan dengan dipanaskan hingga suhu 100 °C selama 60 menit tujuan dilakukan pemanasan untuk mengetahui apakah kayu yang kadar airnya lebih sedikit (agak kering) atau dalam penyimpanan yang lama sehingga kadar airnya menurun dalam penyerapan radiasi berkurang diakibatkan berkurangnya berat jenis dan juga mudah pecah dan retak. Dari gambar 5. tampak bahwa untuk setara dengan Pb 1,3 mm dibutuhkan kayu bangkirai dengan ketebalan 254 mm. Sedangkan untuk kayu bangkirai dengan perlakuan dibutuhkan ketebalan 273 mm. Ini setelah pemanasan terdapat retak retak pada kayu bangkirai sehingga radiasi sinar-x dapat lebih mudah menembus bahan.

Untuk mencapai kesetaraan Pb hingga 2 mm, tidak bisa dilakukan pengukuran, karena detektor sudah tidak mampu membaca dosis radiasi, karena terlalu kecil untuk itu penentuan kesetaraan dilakukan dengan perhitungan. Langkah pertama adalah menentukan koefisien serapan (μ) Pb, dengan menggunakan persamaan (2). Dari perhitungan tersebut diperoleh hasil μ sebesar 5,668/mm berikutnya ditentukan nilai dosis pada ketebalan Pb 2 mm dengan menggunakan persamaan (1). Yaitu

sebesar $1,891 \cdot 10^{-5}$ mGy dan untuk mencapai kesetaraan kayu bangkirai dengan Pb di gunakan perhitungan dengan menggunakan persamaan (3) dari perhitungan diperoleh bahwa untuk mencapai 2 mm Pb digunakan ketebalan kayu bangkirai tanpa perlakuan sebesar 391 mm sementara untuk kayu yang mengalami perlakuan dibutuhkan ketebalan sebesar 420 mm. Sehingga dapat dipastikan bahwa kayu bangkirai merupakan bahan yang dapat menyerap sinar-x dengan ketebalan tertentu terlihat dari penyerapan kayu tersebut, jadi serapan sangat dipengaruhi oleh nomor atom dan juga ketebalan bahan jadi semakin tinggi nomor atom suatu bahan dan semakin besar ketebalan bahan maka semakin besar pula penyerapannya.

KESIMPULAN

- A. Koefisien serapan kayu bangkirai tanpa dipanaskan sebesar 0,029/mm, sedangkan untuk kayu bangkirai yang dipanaskan 100 °C selama 60 menit sebesar 0,027/mm.
- B. Hasil kesetaraan ketebalan bahan antara kayu bangkirai tanpa dipanaskan dengan timbal (Pb) untuk ketebalan 1,3 mm setara dengan ketebalan kayu bangkirai sebesar 254 mm dan untuk 2 mm Pb setara dengan ketebalan kayu bangkirai 391 mm. Sementara untuk kayu bangkirai yang dipanaskan 100 °C selama 60 menit didapatkan hasil dengan ketebalan Pb 1,3 mm setara dengan ketebalan kayu bangkirai 273 mm dan 2 mm Pb setara dengan 420 mm sehingga bisa dikatakan bahwa kayu yang mengalami perlakuan pemanasan kurang efektif dalam penyerapan radiasi sinar-x karena diakibatkan berkurangnya berat jenis dan juga mudah pecah dan retak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putra, H., Satyarno, I., dan Wijatna, A.B., 2008, *Penggunaan Pasir Besi Dari Kulon Progo Dengan Berat Jenis 4,311 Untuk Mortar Perisai Radiasi Sinar Gamma*, Forum Teknik Sipil No. XVIII, Yogyakarta.
- [2] Rahayuningsih, B., Muntini, M.S., Prasetya, N.K., 2010, *Prediksi Dosis Paparan Radiasi Dengan Menggunakan Metode Klastering Pada Dosimeter Film*, prosiding seminar nasional Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [3] Laitabun, Y.M., Sutanto, H., Anam, C., 2013, *Pengukuran Laju Paparan Radiasi Sinar-x Pada Ruang Operator RSUD. Prof. DR. W. Z. Johannes Kupang*, Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [4] Kusumawati, D.D., Akhadi, M., Yulianti, H., 2004, *Kondisi Tidak Ideal Dalam Pemakaian Dosimeter Perorangan Di Lapangan*, Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir Batan, Jakarta.
- [5] Marpaung, T., 2006, *proteksi radiasi dalam radiologi intervensional*, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta
- [6] Kurniawan, 2007, *Pengukuran Kontaminasi Internal ¹³¹I Menggunakan Whole Body Counter*, Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian, Bogor.
- [7] Maryanto, D., Solichin dan Abidin, Z., 2008, *Analisi Keselamatan Kerja Radiasi Pesawat Sinar-X Di Unit Radiologi RSUD*, Seminar Nasional IV Sdm Teknologi Nuklir, Yogyakarta.
- [8] Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2012, *Tentang Pedoman Penilaian Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja*, Nomor : 020/ka/i, Jakarta.
- [9] Trikasjono, T., Maryanto, D., Nugroho, A., 2007, *Perancangan Ruang Pengujian Kebocoran Pesawat Sinar-x Rigaku 250 kv di STTN Batan*, Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta.

- [10] Trikasjono, T., Kamal, z., 2010, *Paparan radiasi dari pekerja radiasi sejak tahun 1997 – 2006 berdasarkan kriteria dan lama kerja*, Teknologi Nuklir BATAN, Yogyakarta.
- [11] Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1087/ Menkes/ SK/VII 2010, tentang *Standar Kesehatan dan Keselamatan Kerja Di Rumah Sakit*, Jakarta.
- [12] Rahmawati, A., Setyaningsih, I., 2009, *Pengaruh Faktor Air Semen Pada Beton Normal Sebagai Perisai Radiasi Sinar Gamma*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- [13] Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) NI-5,1961, DPU, Bandung.
- [14] Sadiyo, S., 2011, *Analisis Sesaran Batas Proporsional dan Maksimum Sambungan Geser Ganda Batang Kayu dengan Paku Majemuk Berpelat Sisi Baja Akibat Beban Uni-Aksial Tekan*, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian, Bogor.
- [15] Suyatno, F., 2008, *Aplikasi Radiasi Sinar-x Di Bidang Kedokteran Untuk Menunjang Kesehatan Masyarakat*, seminar nasional iv sdm teknologi nuklir, yogyakarta.
- [19] Khan M.F., Phd, 2003, *The Physics of Radiation Therapy*, third edition, Lippincott Williams and Wilkins, New York.